Las negociaciones SALT

Las conversaciones en curso sobre limitación de armamentos estratégicos pueden poner un techo efectivo a la carrera cuantitativa de armamentos y constreñir la carrera cualitativa

Herbert Scoville, Jr.

La Administración del presidente Carter tiene sobre la mesa la revisión de la política de Seguridad Nacional y la preparación de su primer presupuesto de Defensa. Una cuestión importante a dilucidar se centra en el papel que puede y debe desempeñar el control de armamentos, así como las conversaciones sobre limitación de armamentos estratégicos (SALT) con la URSS, que son las negociaciones más difíciles actualmente en curso. Tanto la Unión Soviética, con sus nuevos modelos de misiles balísticos intercontinentales (ICBM) de gran capacidad de carga, como los Estados Unidos, con sus programas para reemplazar sus ICBM Minuteman por otros de mayor precisión, tienen a la vista nuevos proyectos que podrían comprometer de forma considerable la estabilidad del equilibrio estratégico, además de costar miles de millones de dólares. El acuerdo provisional sobre armas ofensivas logrado en 1972 expira el día 3 de este mes y, a menos que se llegue a un acuerdo con anterioridad a esa fecha, las presiones para acelerar la carrera de armamentos serán muy grandes. El éxito de esas conversaciones es, por tanto, un asunto de seria trascendencia tanto para la seguridad de los Estados Unidos como para la cuenta de gastos de armamentos que tendrán que pagar los norteamericanos.

Los Estados Unidos y la Unión Soviética llegaron a un primer acuerdo sobre el control de armamentos en 1972, cuando se firmó el tratado sobre misiles antimisiles balísticos y el acuerdo provisional, al finalizar la primera tanda de conversaciones sobre limitación de armamentos estratégicos (SALT I). Las dos superpotencias están inmersas, desde entonces, en la segunda ronda de las conversaciones (SALT II). El plazo de validez del acuerdo provisional está expirando ya que se estableció tan sólo para cinco años. Hace casi tres años se dio un paso importante con vistas a remontar la fecha de expiración que vence ahora. Los acuerdos de Vladivostok fijaron unas líneas de acción con respecto a las SALT II, estableciendo los techos siguientes para las principales armas estratégicas: 2400 vectores estratégicos (entre bombarderos y misiles), de los cuales únicamente 1320 podrían ir provistos con ojiva de múltiples cabezas (MIRV) [MIRV corresponde a la sigla de "multiple independently-targetable reentry vehicle" (vehículo de reentrada con objetivos múltiples asignables independientemente) que designa, en un misil ICBM o SLBM, un tipo de ojiva en cuyo interior van varias cabezas nucleares que se desprenden de la misma y se dirigen contra objetivos diferentes una vez el misil vuelve a entrar en la atmósfera, ya sobre territorio enemigo. N. del T.]. La parte positiva de dichos acuerdos fue que, por vez primera, se establecía un techo en cuanto al número total de bombarderos y de misiles, así como en la cifra de misiles que podían armarse con MIRV (aunque sin determinar el número total de cabezas independientes). En el aspecto negativo, cabe decir que los techos fijados eran tan elevados que prácticamente no suponían limitación alguna. También hay que destacar la imprecisión en lo que respecta a la definición de qué tipos de armas –en particular misiles crucero y bombarderos de alcance medio– quedarían incluidas dentro de los techos fijados y, por otra parte, que al no concretar nada acerca de los avances tecnológicos, se institucionalizaba, de hecho, una nueva carrera de armamentos: la cualitativa, en contraposición a la cuantitativa. Todo esto reviste importancia, como se ha demostrado posteriormente. Lo que complica el desarrollo actual de las negociaciones SALT es que cada parte está intentando jugar –de modo diferente– con las inconcreciones derivadas de los acuerdos de Vladivostok.

La nueva Administración del presidente Carter tomó la iniciativa en marzo pasado con ocasión del viaje del secretario de estado, Cyrus R. Vance, a Moscú para presentar dos propuestas alternativas. La primera de ellas era "comprehensiva". Por un lado, trataba de frenar la carrera cuantitativa reduciendo los arsenales existentes realmente y, por otro, frenar la carrera cualitativa restringiendo la modernización o sustitución de los sistemas de armas ahora desplegados. La segunda propuesta era una proposición "expectante". Consistía simplemente en confirmar los techos de Vladivostok, dejando para futura consideración los dos elementos que bloquearon la consecución de unos acuerdos SALT II a lo largo del mandato del presidente Ford: el misil crucero norteamericano y el bombardero medio Backfire soviético. Los rusos rechazaron ambas propuestas. La mencionada en segundo lugar era, aparentemente, satisfactoria para los soviéticos; pero no podían aceptar un aplazamiento en cuanto al misil crucero. Con respecto a la primera propuesta, los soviéticos dijeron que las limitaciones y prohibiciones que contenía estaban calculadas con vistas a congelar la superioridad estadounidense.

Después de esta negativa inicial, las negociaciones prosiguieron a partir de un acuerdo de trabajo sobre tres bases concretas, establecido en el mes de mayo en Ginebra. Se llegaría, primeramente, a un tratamiento de cinco años de duración confirmando los techos de Vladivostok o tal vez otros techos inferiores; en segundo lugar, a un protocolo de tres años de validez, limitando el desarrollo de misiles crucero, misiles móviles, ICBM pesados y el bombardero Backfire y, en tercer lugar, a una declaración de principios para la continuación de negociaciones a largo plazo, reducciones sustanciales en armamentos estratégicos y acerca del control de la carrera cualitativa. Las negociaciones desarrolladas durante este verano han versado, presumiblemente, sobre los detalles a introducir en este acuerdo de trabajo.

A continuación voy a describir y analizar, principalmente, los detalles de la primera de las propuestas presentadas por los Estados Unidos en Moscú, intentando al propio tiempo sintetizar la problemática de los aspectos fundamentales del control de armamentos, las complejas interrelaciones entre los controles cualitativo y cuantitativo y las dificultades para llegar a controles eficaces en una era en la que los avances tecnológicos son mucho más importantes que la medición convencional de la supremacía estratégica basada en el número y la capacidad en megatones de los misiles de cada bando.

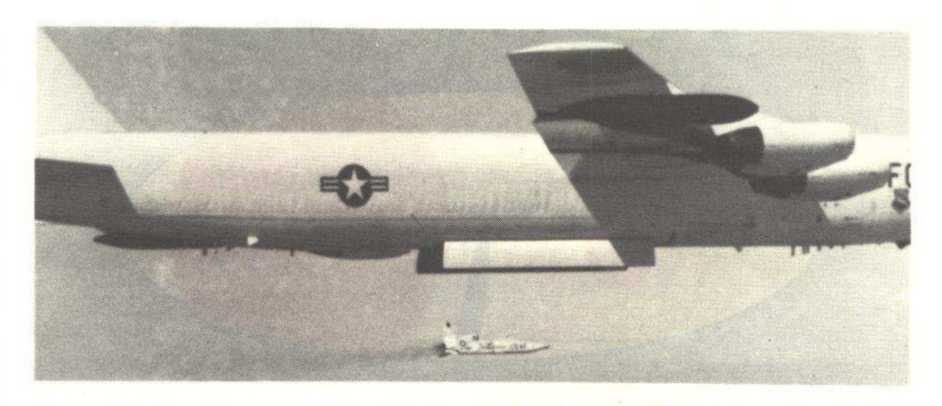
La propuesta norteamericana "comprehensiva" iba mucho más allá de cualquier tipo de control que se hayan planteado mutuamente las dos potencias a lo largo de ocho años de negociaciones. Suponía, especialmente, un esfuerzo por limitar los sistemas de armas con mayores posibilidades para poner en peligro el equilibrio de disuasión mutua entre las dos potencias, es decir, sistemas que puedan dar a cualquiera de ellas una capacidad de "contrafuerza" ("counterforce") al poner en peligro los misiles balísticos intercontinentales con base en tierra de la otra. Un arma de "contrafuerza", por ejemplo un ICBM armado con MIRV, es la que cuenta con muchas probabilidades de destruir una base de lanzamiento –un asentamiento en silo subterráneo protegido– combinando la alta precisión con la potencia. Pone en peligro a un elemento esencial del arsenal de represalia del otro bando y, por tanto, a su fuerza de disuasión.

Los nueve puntos básicos de la propuesta norteamericana (según han sido dados a conocer hasta la fecha) se agrupaban en dos categorías. Los cuatro primeros establecían límites –más bajos que los actualmente en vigor– en el número de vectores estratégicos. Los cinco últimos abordaban el problema del control cualitativo imponiendo varias restricciones al desarrollo, pruebas y despliegue de nuevas armas.

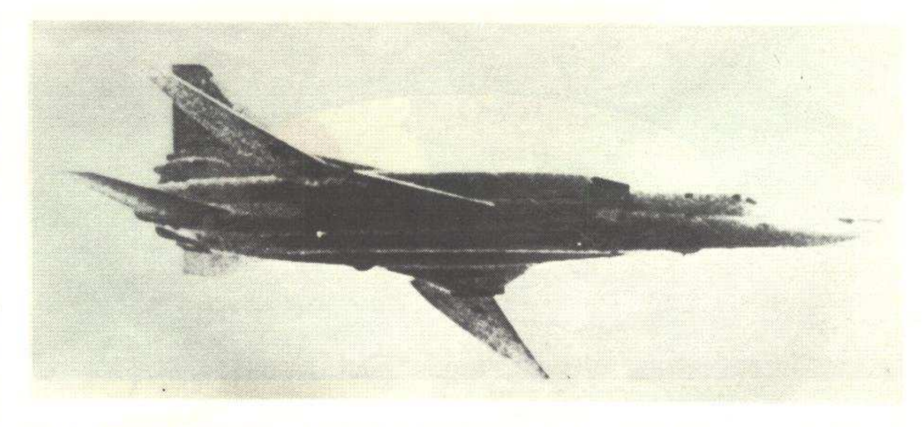
Las medidas cuantitativas reducirían el número total de vectores, es decir, de ICBM, misiles balísticos lanzados desde submarino (SLBM) y bombarderos estratégicos, pasando del total de 2400 acordado en Vladivostok a una cifra comprendida entre 1800 y 2000; de ellos, solamente podrían ser armados con MIRV entre 1100 y 1200 (en contraposición con los 1320 establecidos en Vladivostok). Unicamente 550 de los misiles con MIRV podrían ser ICBM (una condición parcial sobre la que nada se acordó en Vladivostok). Por último, el número de ICBM pesados soviéticos, fijado en 308 según el acuerdo provisional, quedaría reducido a la cifra de 150.

Si atendemos al modo en que cada bando podría distribuir el total de vectores estratégicos permitidos –entre ICBM, SLBM y bombarderos–, a la potencia de las cabezas nucleares y al número de MIRV a colocar en cada tipo de misiles, salta a la vista la trascendencia que la disminución de los techos tendría en los arsenales de las dos potencias *(véanse las ilustraciones de las páginas 8 y 9)*. La distribución real podría modificarse, pero ello no alteraría probablemente el equilibrio estratégico en un grado significativo. (La mayor incertidumbre se centra en el programa soviético de equipar con MIRV los SLBM, un programa que hasta el momento no ha sido objeto de prioridad en Rusia, pero que presumiblemente cobraría importancia, como explicaré más tarde, si se redujera la cifra de ICBM dotados con MIRV.)

Los esfuerzos de la Unión Soviética se han concentrado en construir ICBM más potentes, capacitados para transportar mayor carga, lo cual permite, o bien mayor potencia explosiva por cabeza nuclear, o mayor número de cabezas por misil, o una solución intermedia entre las dos. Basándome en las pruebas realizadas por los soviéticos, opino que sus ICBM pesados podrían llevar ocho cabezas nucleares cada uno, y seis los ICBM más ligeros. Los ICBM norteamericanos Minuteman III van armados con tres cabezas. Con respecto a los bombarderos, supongo que los B-52 estadounidenses podrían transportar hasta 10 armas, bien sean del tipo bomba, misiles crucero de largo alcance o misiles aire-tierra de corto alcance. No hay datos seguros acerca de la capacidad de carga de los bombarderos soviéticos, pero el Departamento de Defensa estadounidense la estima en dos o tres armas por aparato; como la fuerza soviética de bombarderos estratégicos es muy pequeña, la trascendencia de esta falta de datos no es importante. En este cálculo he excluido al bombardero medio Backfire, ya que sus posibilidades en misiones intercontinentales son realmente discutibles. Puede asimilarse a los bombarderos estadounidenses estacionados en Europa, con ra-



EL MISIL CRUCERO NORTEAMERICANO es un reactor sin piloto, de vuelo subsónico, similar a la "bomba volante" de la Segunda Guerra Mundial, pero con mucho mayor alcance y precisión. Puede ser lanzado desde tierra, navío de superficie, submarino o desde el aire (como desde este B-52). Uno de los puntos básicos de las negociaciones SALT es la insistencia soviética en que los misiles crucero de largo alcance queden incluidos en los techos de armas estratégicas.



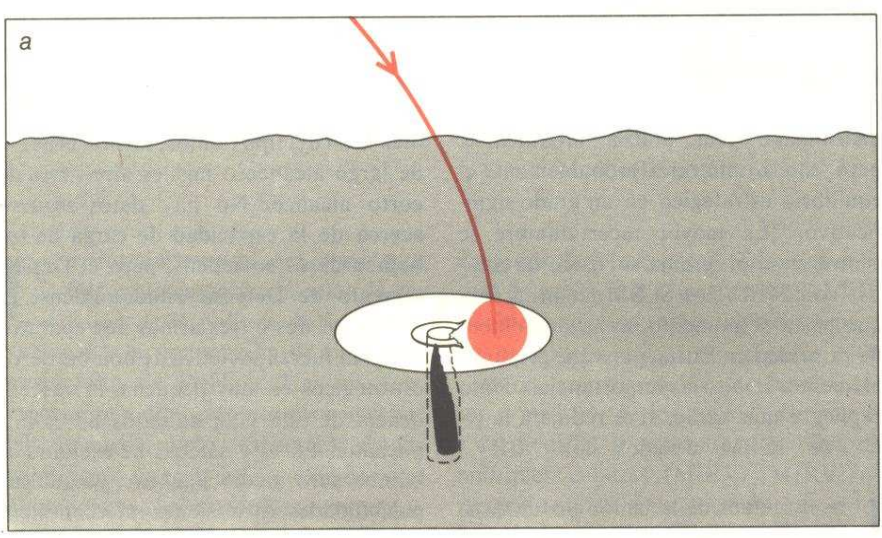
EL BACKFIRE SOVIETICO es un bombardero supersónico capaz de alcanzar una velocidad Mach 2 a gran altitud. Su radio de combate es de 5500 kilómetros, lo que significa que podría penetrar en los Estados Unidos a velocidad inferior a la del sonido desde las bases soviéticas instaladas en el Artico en una misión "suicida" (sin regreso), tomando tierra en un "tercer país" o reabasteciéndose en vuelo. La cuestión estriba en determinar si el Backfire es o no un arma estratégica.

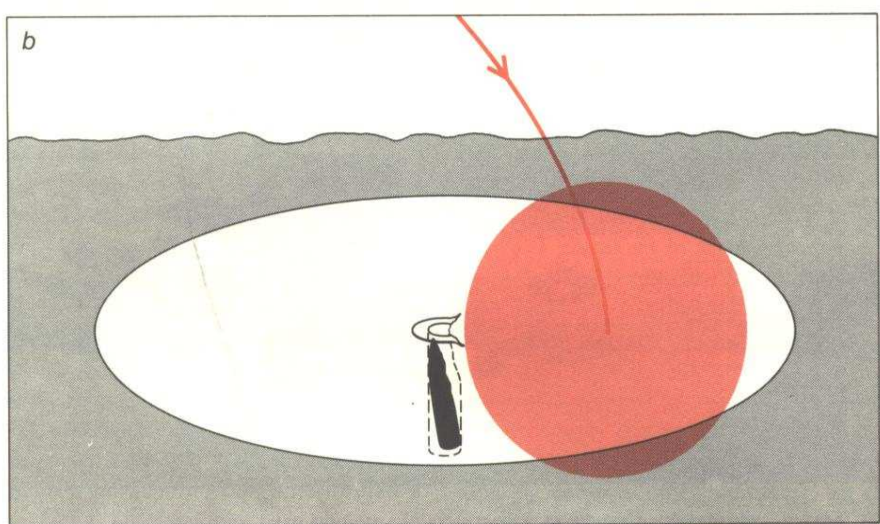
dio de acción sobre la Unión Soviética, que forman parte del denominado sistema de bases adelantadas (forward-based system).

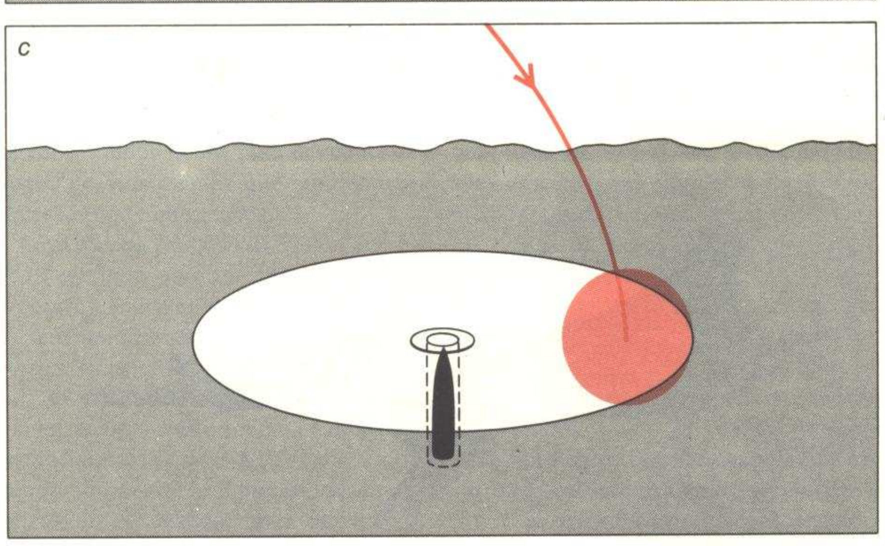
La adopción de los más bajos niveles de armamentos que contiene la propuesta "comprehensiva" presentaría varios tipos de problemas –tanto reales como basados en supuesta mala fe– para los Estados Unidos y la Unión Soviética. Dicha propuesta exigiría, por parte de los soviéticos, una reducción en el número de ICBM pesados de 308 a 150, todos los cuales podrían llevar cabezas nucleares múltiples. Esa condición provocó una fuerte reacción rusa, ya que como los Estados Unidos no tienen ICBM pesados, los términos de la propuesta no le afectaban. Este aspecto polémico de la cuestión podría haberse evitado si la propuesta se hubiese expresado en términos diferentes, simplemente estableciendo un techo de 150 en cuanto al número de misiles pesados que los rusos podrían dotar con MIRV, o incluso especificando el número de SS-9 soviéticos a reemplazar por los nuevos SS-18. Los SS-9 nunca se han experimentado con MIRV, y la mayoría de los SS-18 llevan una cabeza nuclear, por lo que los soviéticos sólo disponen en la actualidad de un reducido número de ICBM pesados con MIRV. Los techos en cuanto a ICBM dotados con MIRV o, en definitiva, el número de SS-18, podrían ser verificables mediante satélites, ya que los SS-18 requieren un silo subterráneo mayor que el de los SS-9. El establecimiento de unos techos sobre esta base tendría un efecto estratégico similar al de una reducción general de misiles, debido a que los SS-9 de cabeza nuclear sencilla no suponen una amenaza significativa a efectos de "contrafuerza".

La limitación del número de ICBM con MIRV a 550 sería particularmente difícil de aceptar por los soviéticos, ya que ellos conceden más importancia que los Estados Unidos a los ICBM (el límite de 550 presenta también un problema de "enmascaramiento", al haber sido escogido coincidiendo evidentemente con el número actual de misiles Minuteman norteamericanos dotados con MIRV). No puede saberse con seguridad cuántos de los 1320 vectores con MIRV acordados en Vladivostok podrían ser adjudicados por los soviéticos a su arsenal de ICBM, pero, en vista de la escasa prioridad que en el pasado concedieron a los SLBM, la cifra autorizada podría haber sido superior a 550. Por otra parte, como los soviéticos disponen hoy de menos de 200 ICBM con MIRV, esta condición no les hubiera obligado a desmantelar ninguno. También hay que tener en cuenta que si el techo en ICBM con MIRV se situase muy por encima de 550, la capacidad de "contrafuerza" sería una realidad a considerar, habida cuenta de los previsibles avances en punto a precisión.

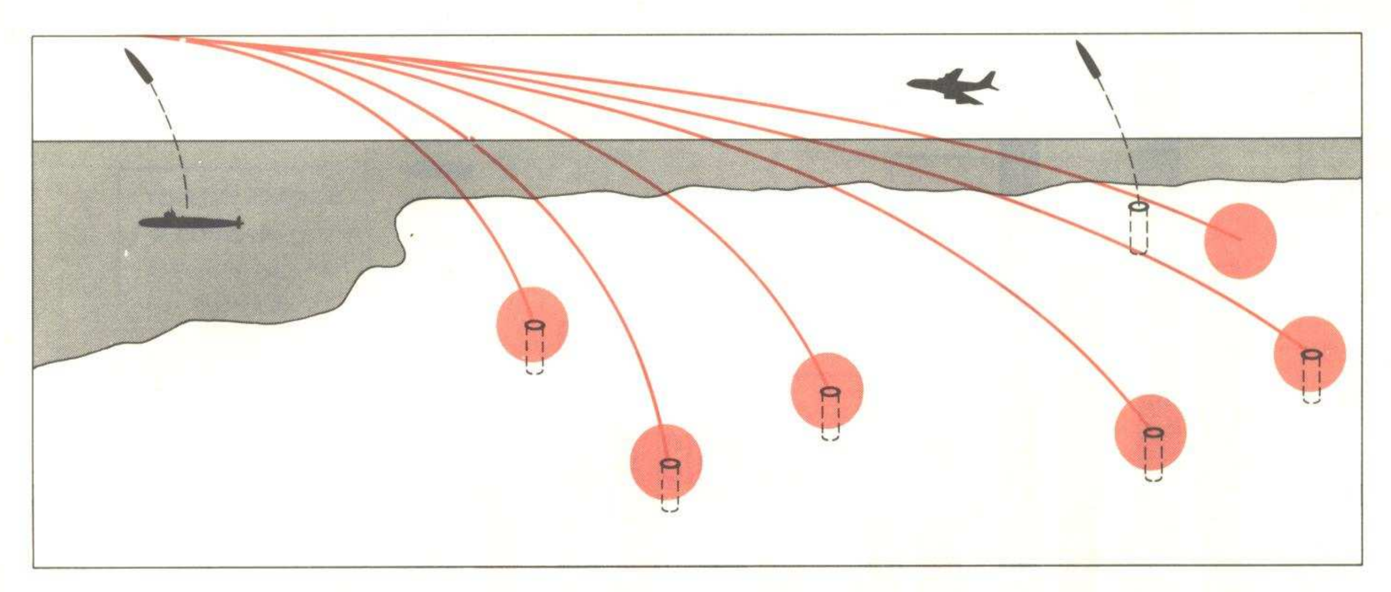
El simple hecho de establecer un techo de 1800 a 2000 vectores de lanzamiento obligaría probablemente a los rusos a retirar del servicio cierto número de ICBM. También tendrían la alternativa de reducir la cifra de SLBM, pero ésta ascendía en la primavera pasada a 840 unidades y parecer hallarse en camino de alcanzar el techo de los 950 permitidos por el



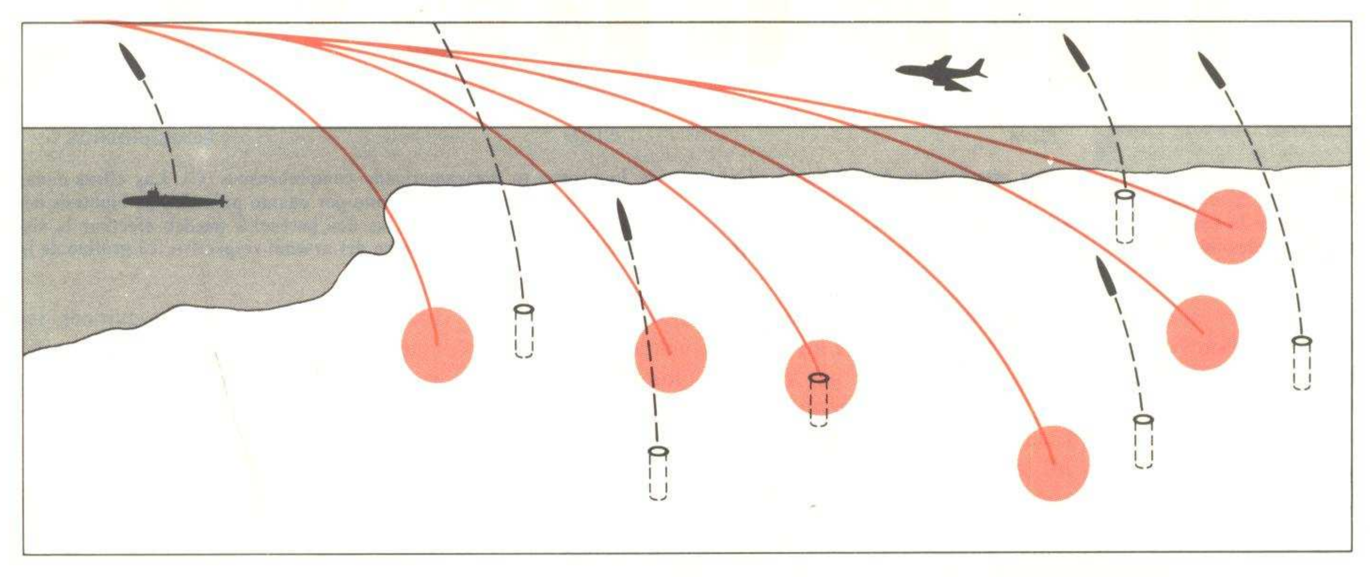




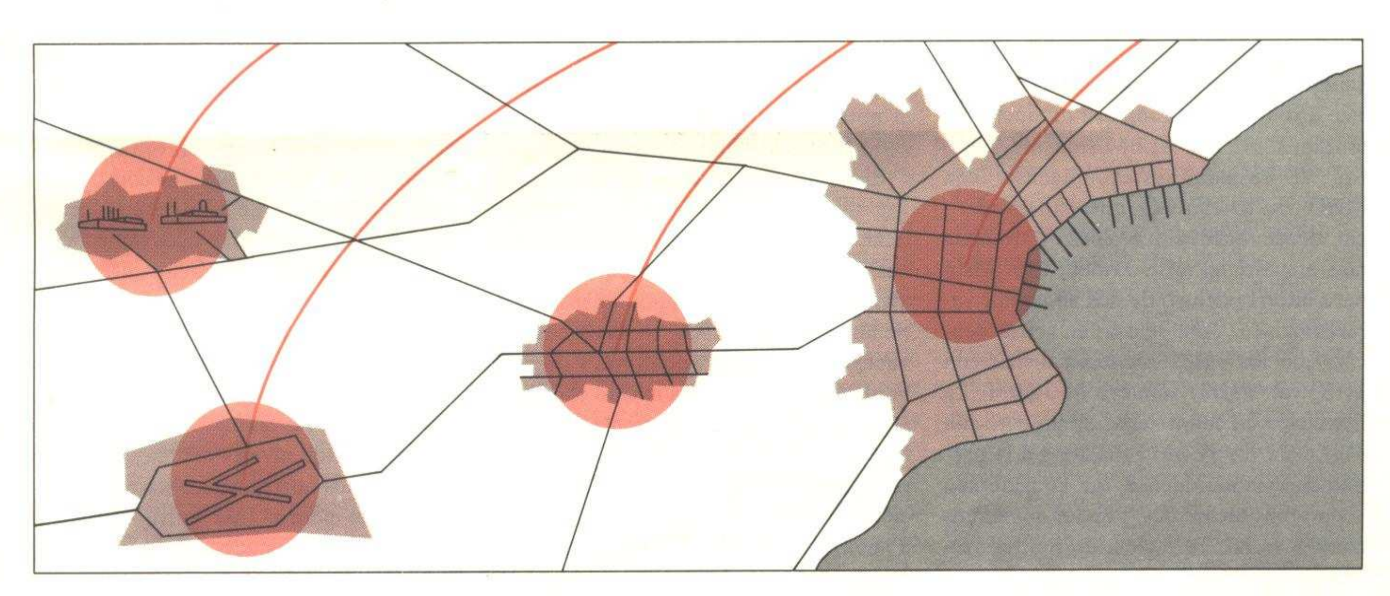
DE SU PRECISION Y DE SU POTENCIA EXPLOSIVA depende la probabilidad que tiene un misil de destruir un objetivo protegido. Una cabeza nuclear de poca potencia, pero con pequeño error circular probable (ECP), puede destruir un silo subterráneo (*a*), del mismo modo que otra con mayor potencia pero mayor ECP, o sea, menor precisión (*b*); cualquiera de estas dos cabezas nucleares constituye un arma de "contrafuerza" eficaz. Un arma con potencia o precisión insuficientes para poder destruir un silo no es ningún arma de "contrafuerza" eficaz (*c*).



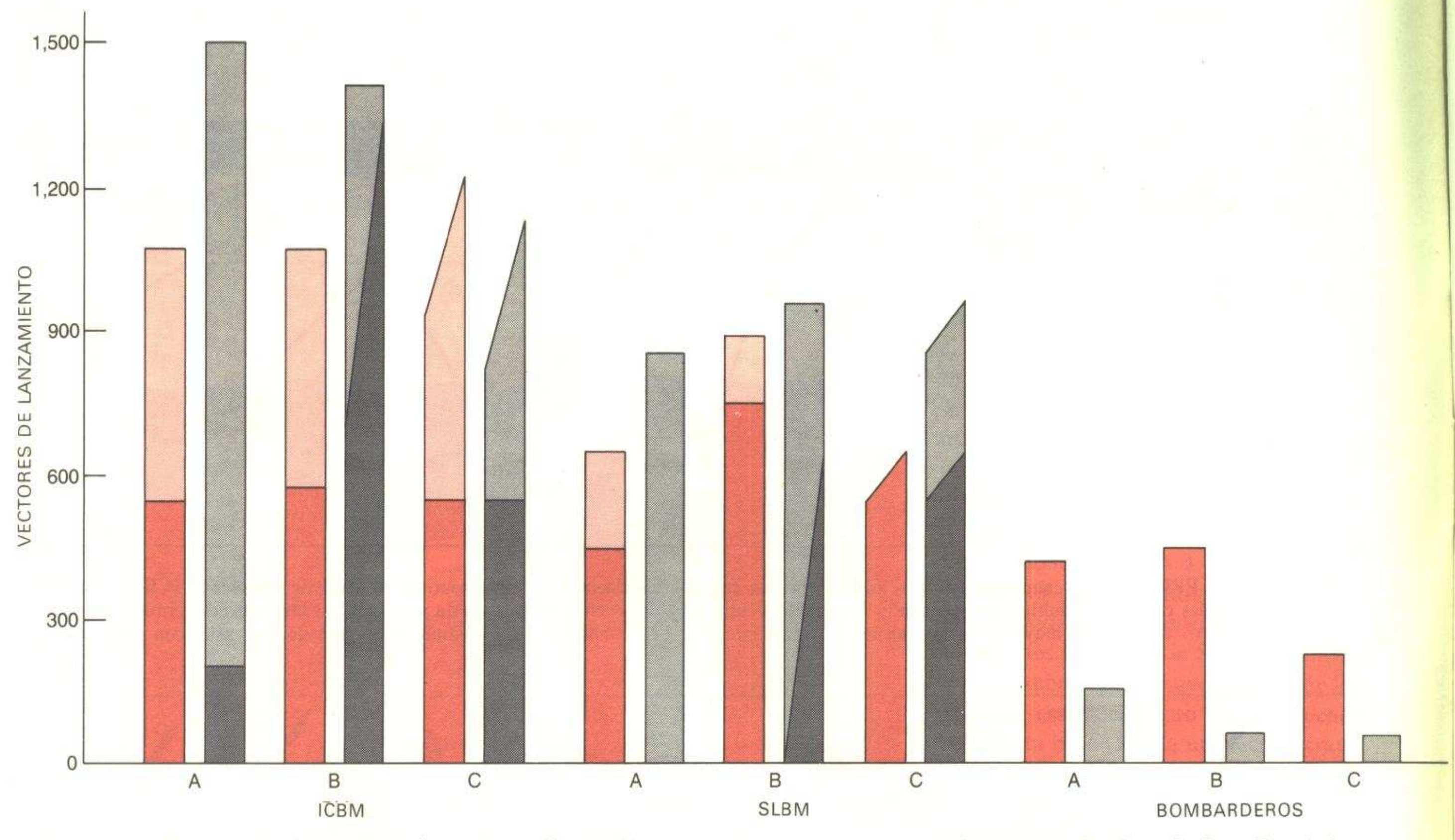
UN ATAQUE EFICAZ de "contrafuerza" con misiles dotados con ojivas de múltiples cabezas ("multiple independently targetable reentry vehicles": MIRV) destruye la mayoría de los misiles balísticos intercontinentales ("intercontinental ballistic missiles": ICBM). Bombarderos en estado de alerta y submarinos lanzamisiles permanecen todavía en condiciones de efectuar un ataque de represalia con plena eficacia.



UN ATAQUE FALLIDO de "contrafuerza" es aquel en el que los misiles atacantes carecen de la precisión o de la potencia explosiva necesarias para destruir muchos de los ICBM. La mayoría de éstos pueden ser lanzados y llevar a cabo un ataque de represalia en gran escala.



REPRESALIA EFICAZ efectuada por la nación que ha sido objeto de un ataque por sorpresa contra la que lo desencadenó. Los ICBM, SLBM ("submarine-launched ballistic missiles") y bombarderos atacan núcleos de población, puertos, objetivos industriales y otros objetivos militares que no sean silos subterráneos. Para una represalia eficaz se necesita una precisión inferior a la requerida para un ataque de "contrafuerza".



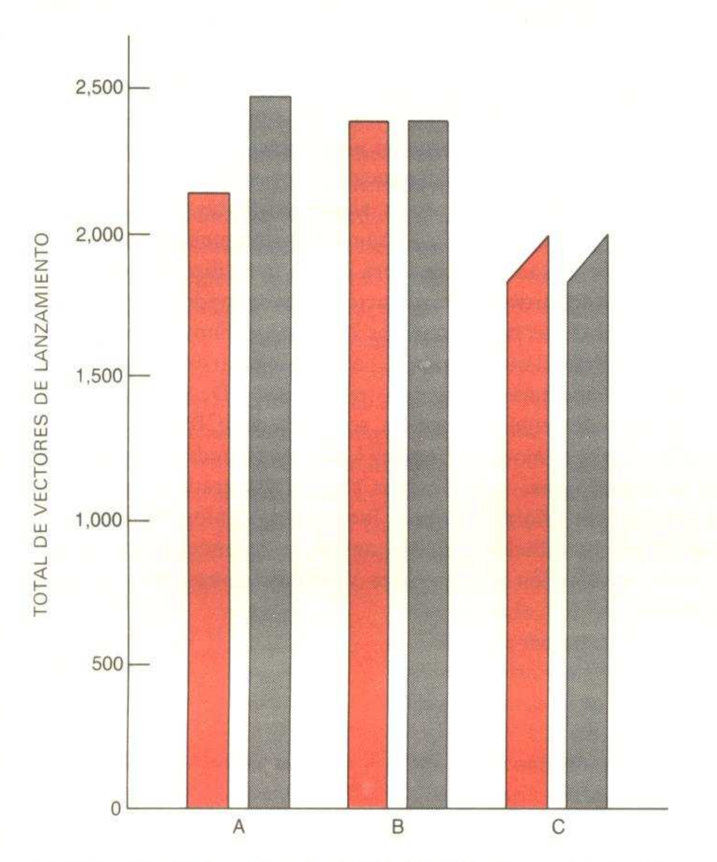
COMPARACION entre las fuerzas estratégicas de los Estados Unidos *(color)* y de la Unión Soviética *(gris)* de acuerdo con los datos vigentes en la primavera última *(A)*, según podrían ser en 1985 si fueran aceptados los techos de Vladivostok *(B)* o con los techos inferiores de la propuesta norteamericana comprehensiva *(C)*. Las cifras dadas ahora podrían variar ligeramente por cuanto proceden de hipótesis hechas sobre la forma en que las dos potencias pueden efectuar la distribución de sus medios, dentro del arsenal respectivo. El gráfico de la

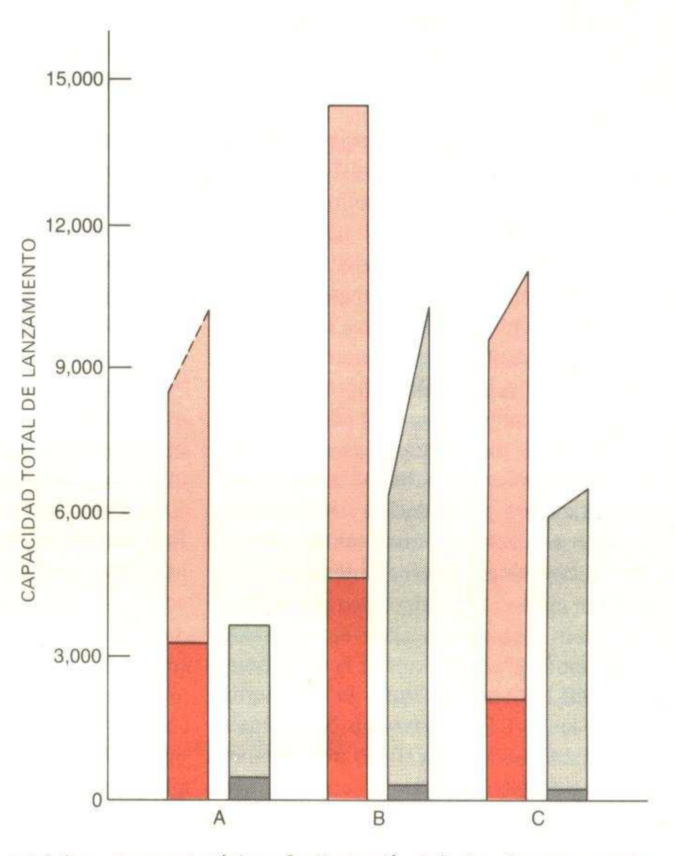
acuerdo provisional de 1972. La reducción en el número de ICBM sería presumiblemente más aconsejable que la de los costosos submarinos, que, además, constituyen la fuerza de disuasión que inspira más confianza. Si los soviéticos quisiesen –como así parece– alcanzar los techos permitidos en la propuesta, de 1100 a 1200 misiles con MIRV, el bajo límite señalado para cabezas nucleares múltiples en los ICBM haría que tuviesen que dotar con MIRV de 550 a 650 SLBM. Los soviéticos han comenzado a experimentar recientemente un SLBM con dos cabezas MIRV para el más moderno de sus dos tipos de submarinos nucleares lanzamisiles. Ese SLBM será muy inferior al Poseidón estadounidense, con MIRV de 10 cabezas, que está en servicio desde hace cinco años, y todavía más alejado del misil Trident I, previsto para hacerlo dentro de dos años. Por varias razones, cabe pensar, en consecuencia, que los rusos prefieran armar con MIRV un mayor número de ICBM. La limitación en cuanto al equipamiento con MIRV de los ICBM reflejada en la propuesta estadounidense fue considerada –comprensiblemente– por los soviéticos como parcial, en el sentido de que restringía las armas más valoradas por la Unión Soviética, y menos por los Estados Unidos.

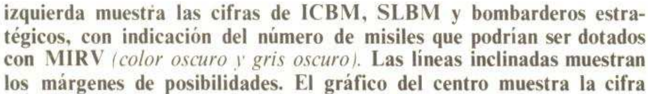
Con 135 aviones que datan de la mitad de los años cincuenta, Rusia marcha muy por detrás de los Estados Unidos en lo que respecta a bombarderos intercontinentales. Sin embargo, no parece que esté haciendo muchos esfuerzos por acortar la ventaja. Si fuese necesario, cabe imaginar que los rusos podrían reducir el total general de armamentos estratégicos, con sólo retirar algunos de esos viejos bombarderos. Los Estados Unidos, por otra parte, posiblemente mantendrían un considerable número de B-52, cuya gran capacidad de carga sería un elemento significativo en el potencial nuclear que podría ser lanzado contra la Unión Soviética.

El nuevo bombardero soviético Backfire, que ha merecido una gran atención, tiene muy pocas posibilidades en misiones intercontinentales. Solamente puede alcanzar objetivos estadounidenses partiendo de bases rusas en el Artico, en vuelo subsónico a gran altitud y sin posibilidad de regreso. Una misión con retorno requeriría reabastecimiento en vuelo, técnica a la que los rusos nunca asignaron una prioridad digna de consideración. La capacidad del Backfire como bombardero estratégico –bombardero capaz de alcanzar el territorio enemigo– es ciertamente menos significativa que la de los bombarderos estadounidenses con base en Europa o en portaaviones, los cuales pueden alcanzar objetivos estratégicos en el interior de Rusia. Los Estados Unidos afirman que la misión primordial de sus aviones en "bases adelantadas" no es estratégica, sino de apoyo a sus aliados de la OTAN en caso de conflicto en Europa. Similarmente, los soviéticos mantienen que la utilización del Backfire está prevista contra objetivos periféricos (China o Europa occidental).

Existen, por tanto, varios caminos por los que podría llegarse a la reducción de las fuerzas estratégicas de ambos países para alcanzar los techos fijados en la propuesta comprehensiva. Sin embargo, las diferentes opciones se ven constreñidas por la estructura de los arsenales actuales, el nivel tecnológico que puede alcanzar cada país y los condicionantes burocráticos en ambos. Alcanzar los techos totales propuestos –de 1800 a 2000 vectores estratégicos– sería más difícil para los soviéticos, ya que les supondría una disminución de 500 a 700 vectores con respecto a los niveles actuales, mientras que para los norteamericanos esta disminución se podría fijar entre 150 y 350 vectores. Los Estados Unidos podrían proceder fácilmente a esta reducción retirando bombarderos o ICBM viejos, mientras que la Unión Soviética tendría






izquierda muestra las cifras de ICBM, SLBM y bombarderos estratégicos, con indicación del número de misiles que podrían ser dotados con MIRV *(color oscuro y gris oscuro)*. **Las líneas inclinadas muestran los márgenes de posibilidades. El gráfico del centro muestra la cifra total de vectores estratégicos. La ilustración de la derecha, por su parte, representa la capacidad total de lanzamiento, que es la suma de la capacidad de lanzamiento con bombarderos estratégicos** *(tonos oscuros)* **y de la capacidad de lanzamiento con ojivas de los misiles** *(tonos claros)*.

que retirar ICBM más modernos o, incluso, SLBM. El techo de 1100 a 1200 en cuanto al total de vectores con MIRV no supondría reducción alguna en los arsenales actuales de ambos países, pero la conclusión de que sólo 550 ICBM puedan llevar ojiva múltiple resultaría difícil de cumplir por parte de la Unión Soviética. Si los Estados Unidos se decidiesen a seguir adelante con proyectos como el del submarino Trident, la adopción de los techos más bajos les obligaría a retirar de servicio algunos de los misiles con MIRV ahora desplegados.

Caso de ponerse en práctica la propuesta comprehensiva, los rusos podrían alcanzar en 1985 una superioridad de dos a uno, con respecto a los norteamericanos, en cabezas nucleares con ICBM; la potencia de sus cabezas nucleares sería aproximadamente de un megatón, frente a los 200 kilotones que tendrían los estadounidenses. La ventaja soviética en el número de ICBM sería algo más pequeña que la derivada de los acuerdos de Vladivostok, pero sustancialmente más importante que la actual, ya que Rusia está empezando a poner en servicio las ojivas MIRV. La ventaja soviética en número y potencia de las cabezas nucleares se vería compensada por la superioridad norteamericana en precisión y, probablemente, en seguridad de empleo.

Por lo que respecta a cabezas montadas en SLBM, la superioridad norteamericana sería aproximadamente de dos o tres a uno. Además, los misiles y submarinos de los Estados Unidos son tecnológicamente superiores y cuentan con la ventaja geográfica de que sus navíos pueden operar con toda facilidad en el océano Atlántico. En materia de bombarderos, los Estados Unidos tendrían una supremacía aplastante, incluso en el caso de que el bombardero soviético Backfire fuese considerado como arma estratégica. La superioridad norteamericana en bombarderos y SLBM compensaría con creces la de los rusos en ICBM. Los Estados Unidos alcanzarían, en consecuencia, cierta ventaja en el número de cabezas nucleares, y otra ventaja muy superior en capacidad total de lanzamiento, entendiendo por tal la suma de cabezas nucleares en ICBM y SLBM y bombas nucleares de los aviones. Dicha ventaja, sin embargo, podría no ser tan grande como la potencialmente alcanzable si se aplicaran los acuerdos de Vladivostok. De cualquier forma, dicha superioridad no supone nada, militarmente hablando, ni tendría significación, ya que, en caso de un conflicto nuclear, ambos países cuentan con una potencia más que suficiente para destruir a su respectivo oponente.

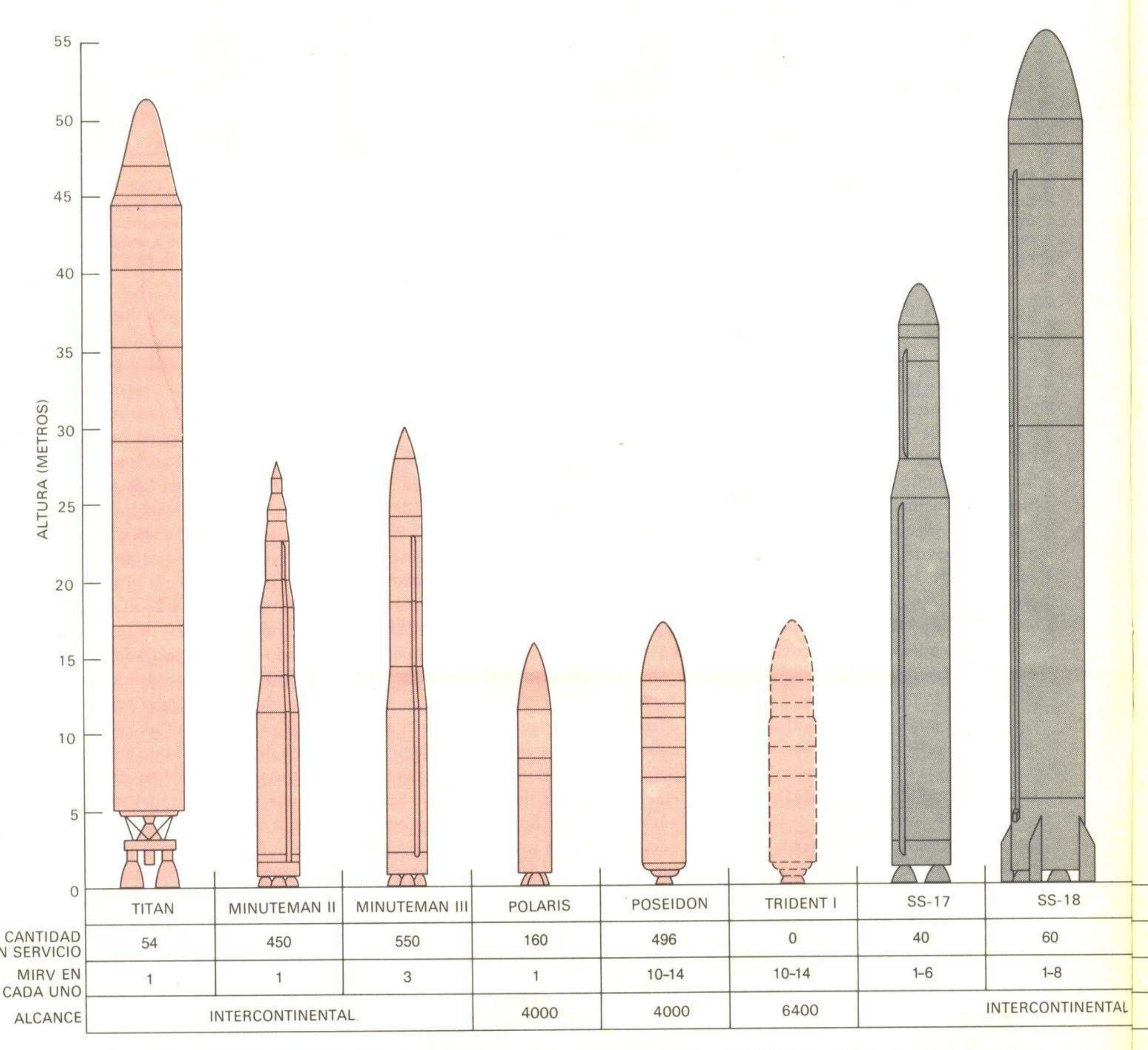
Lo que realmente cuenta es que si se consiguiesen los techos de la propuesta comprehensiva, ambas potencias quedarían, a grandes rasgos, equilibradas. Cada una detentaría la supremacía en los sistemas de armas en los que ha venido centrando sus esfuerzos en el pasado. Si fuesen congelados los avances tecnológicos (un condicional importante que depende de los techos cualitativos a los que me referiré más adelante), ninguno de los dos países lograría una capacidad de "contrafuerza" –que es la capacidad de destruir la mayoría de los misiles del otro bando– aceptable. Ambos dispondrían de una fuerza de disuasión segura y el equilibrio estratégico permanecería estable, ya que existirían escasos incentivos para desencadenar un ataque nuclear por sorpresa (nuclear first strike).

Las propuestas del presidente Carter sobre avances cualitativos en armamentos fueron potencialmente más trascendentales que las limitaciones en cuanto al número de armas. Desde hace algunos años, ha quedado patente que la carrera de armamentos estratégicos se ve impulsada, no por la necesidad de aumentar el número de armas, sino por la continua búsqueda de avances tecnológicos con vistas a lograr una superioridad. Ni el acuerdo provisional de 1972 ni los de Vladivostok establecieron medida algu-

na en este sentido: la sustitución de misiles por otros más modernos fue contemplada tácitamente o, en algunos casos, permitida explícitamente.

La propuesta comprehensiva prohibiría la modernización o sustitución de ICBM, así como el desarrollo y despliegue de ICBM móviles. Limitaría las pruebas en vuelo de misiles balísticos a seis por año para ICBM y otros seis para SLBM. Prohibiría los misiles crucero estratégicos –aquellos que tienen un alcance superior a los 2500 kilómetros (1550 millas)–, mientras que no habría restricción alguna para los misiles crucero de menor alcance. Finalmente, requeriría garantías por parte de los soviéticos en cuanto al Backfire, en el sentido de no darle capacidad intercontinental ni ser desplegado como medio estratégico. Las prohibiciones propuestas sobre modernización e ICBM móviles y las limitaciones en el número de pruebas experimentales tendrían por objeto, fundamentalmente, prevenir, o al menos retrasar por largo tiempo, cambios sustanciales en los arsenales actuales. En particular, las estrictas limitaciones sobre ICBM evitarían que ninguno de los dos países adquiriese una capacidad de "contrafuerza" que pudiese poner en peligro los ICBM del otro bando. Estas cláusulas incrementarían notablemente la estabilidad del equilibrio estratégico y podrían frenar de modo inmediato la carrera de armamentos.

La cuota de seis pruebas por año reforzaría, de forma eficaz, las prohibiciones sobre modernización y sustitución de misiles, ya que se necesitan muchas más pruebas para alcanzar una fiabilidad que asegure que las armas desplegadas son realmente operativas. A falta de pruebas adicionales, sería casi imposible introducir mejoras importantes en los misiles ahora existentes; la adquisición de armamentos totalmente nuevos estaría fuera de lugar. Utilizando medios de verificación, denominados oficialmente "medios técnicos nacionales de verificación", podría asegurarse que las cuotas fueran respetadas. Desde la primera prueba soviética de ICBM en 1957, los Estados Unidos han podido observar los ensayos con un alto grado de veracidad, desde fuera de la Unión Soviética. La combinación de reconocimientos desde satélites y observaciones electrónicas o

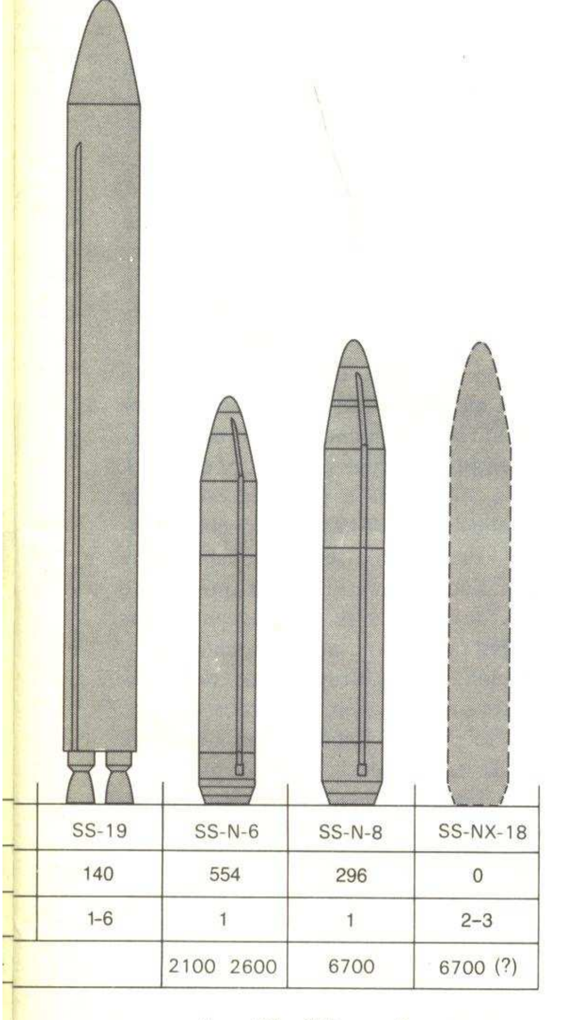


	TITAN	MINUTEMAN II	MINUTEMAN III	POLARIS	POSEIDON	TRIDENT I	SS-17	SS-18
CANTIDAD EN SERVICIO	54	450	550	160	496	0	40	60
MIRV EN CADA UNO	1	1	3	1	10–14	10–14	1–6	1–8
ALCANCE	INTERCONTINENTAL			4000	4000	6400	INTERCONTINENTAL	

MISILES BALISTICOS INTERCONTINENTALES de los Estados Unidos *(color)* y de la Unión Soviética *(gris)*. En cada misil figuran la cifra conocida o estimada de los desplegados, el número de cabezas nucleares múltiples (MIRV) y el alcance. Se incluyen tres ICBM y tres SLBM de cada potencia. Los Estados Unidos han anunciado que pronto pondrán en servicio, en los Minuteman III, la

con rayos infrarrojos desde la periferia de la Unión Soviética han proporcionado buen caudal de información sobre los lanzamientos y sobre las operaciones de reentrada. La calidad de dicho control podría mejorar y alcanzar mayor seguridad mediante un acuerdo por el que todos los lanzamientos fuesen realizados con arreglo a condiciones previamente determinadas, de igual modo a como se hizo con ocasión de negociarse el tratado de misiles antimisiles de 1972.

Estas propuestas de tipo cualitativo congelarían eficazmente los niveles tecnológicos que las dos naciones hubiesen alcanzado en el momento de la entrada en vigor de las limitaciones. Dos programas estadounidenses de ICBM en desarrollo se verían seriamente afectados.



SS-19	SS-N-6	SS-N-8	SS-NX-18
140	554	296	0
1-6	1	1	2-3
	2100 2600	6700	6700 (?)

nueva cabeza Mk, 12A, que tiene mayor potencia explosiva y un sistema de guiado más preciso. Trident I entrará en servicio en breve.

Los Estados Unidos están completando el desarrollo de la ojiva Mk. 12A, con sistema de guiado NS-20, que sustituirá a los MIRV que monta el misil Minuteman III; la entrada en servicio de este sistema de guiado está prevista para finales del presente año. La nueva ojiva mejorará la precisión del MIRV del Minuteman III y duplicará aproximadamente la potencia explosiva de sus cabezas nucleares, que tendrán una elevada probabilidad (más del 70 por ciento) de poder destruir un silo subterráneo. El misil Minuteman lograría así lo que los soviéticos podrían considerar como una seria capacidad de "contrafuerza". Los Estados Unidos han comenzado a diseñar también un ICBM totalmente nuevo, el misil MX, para reemplazar al Minuteman. El MX tendrá cabezas nucleares de mayor potencia con sistema de guiado terminal (esto es, dirigidas en la última parte de su trayectoria) hacia el objetivo. Se trataría de una verdadera arma de "contrafuerza" y, por tanto, desestabilizaría realmente el equilibrio. El MX va a ser móvil y, en consecuencia, muy difícil de destruir; podrá desplazarse en ambos sentidos a lo largo de una trinchera protegida o salir disparado desde cualquier rampa de lanzamiento preparada al efecto. Esto aumentará su capacidad de supervivencia y, al mismo tiempo, hará imposible que los rusos verifiquen la cantidad de misiles desplegados. Si los soviéticos hicieran otro tanto nunca más sería posible negociar ningún techo o límite sobre ICBM. Los dos programas citados quedarían interrumpidos de aceptarse la propuesta comprehensiva norteamericana.

Rusia se vería constreñida, de igual modo, por esta propuesta. Los nuevos ICBM rusos (los SS-17, SS-18, SS-19 y, muy probablemente, el SS-16) habrán sido ensayados lo suficiente como para poder ser desplegados con sus características actuales, pero no se cree que versiones de ellos con MIRV posean en estos momentos la precisión y potencia necesarias que les proporcione una verdadera capacidad de "contrafuerza". La propuesta norteamericana impediría su perfeccionamiento, lo cual redundaría en que los soviéticos no llegasen a disponer de una "contrafuerza" capaz de poner en peligro el arsenal de misiles Minuteman III. La prohibición de misiles móviles impediría que los soviéticos desarrollasen un modelo móvil del SS-16 o diesen capacidad intercontinental al misil móvil de alcance intermedio SS-20, dos posibilidades que han causado honda preocupación en Washington. En resumen, los Estados Unidos quedarían con vectores tecnológicamente más avanzados, lo cual estaría compensado con una mayor capacidad de carga de los misiles soviéticos actuales. En consecuencia, existiría cierto equilibrio en la capacidad estratégica total de que disfrutan ambas potencias.

En lo que respecta a SLBM, la situación sería diferente. Como ya he indicado, los Estados Unidos están en la actualidad muy por encima de Rusia en este campo. A menos que se incluyesen en la propuesta algunas cláusulas permitiendo a los soviéticos ponerse a su altura –por ejemplo, que completaran el desarrollo de cabezas MIRV de largo alcance para sus SLBM– no es probable que fuesen aceptadas las cuotas de seis pruebas por año. Si la limitación de pruebas entrase en vigor a corto plazo, la ventaja norteamericana se vería compensada de algún modo por el hecho de que la cuota haría imposible el despliegue del SLBM Trident I y el desarrollo del Trident II. La cancelación del Trident II detendría, por vía indirecta, el programa de submarinos Trident, ya que el desarrollo de tales submarinos no sería justificable si se limitase su armamento a los misiles Trident I, que pueden ser lanzados desde submarinos más pequeños. (Cancelar el programa de submarinos Trident no supondría una merma en cuanto a seguridad porque, en cualquier caso, los submarinos menores seguirían siendo más aconsejables.) Al ser los SLBM, básicamente, armas de disuasión más que de "contrafuerza", un acuerdo que demorase la entrada en vigor de la limitación de pruebas con SLBM hasta tanto no se completase el Trident I y los soviéticos dispusieran de SLBM con MIRV, no supondría un daño considerable para el control de armamentos. Podría, incluso, incrementar la estabilidad del equilibrio de disuasión.

Parte importante de la propuesta comprehensiva es la que trata del misil crucero que ha estado en desarrollo en los Estados Unidos –pero no en la Unión Soviética– desde 1972. Se trata de una pequeña y económica "bomba volante" de largo alcance, derivada de la V-1 de la Segunda Guerra Mundial, muy mejorada gracias a componentes electrónicos miniaturizados, mediante los cuales puede batir objetivos concretos con extraordinaria precisión (véase "Los misiles crucero", por Kosta Tsipis, en INVESTIGACION Y CIENCIA, abril 1977). Los rusos han insistido en que los acuerdos de Vladivostok incluían, dentro de los techos de vectores estratégicos, a los misiles crucero con un alcance superior a 600 kilómetros (375 millas). Sin embargo, la propuesta comprehensiva estadounidense

define como estratégicos únicamente a los misiles crucero con un alcance superior a los 2500 kilómetros (1550 millas). Tal distancia es más que suficiente para alcanzar objetivos estratégicos de la Unión Soviética al oeste de los Urales, desde bases terrestres en Europa, submarinos u otros buques de superficie, o desde aviones en vuelo sin necesidad de penetrar en territorio soviético. No debe extrañar, por tanto, que los soviéticos pusieran en duda la sinceridad de la propuesta de los Estados Unidos basada en esta definición, teniendo en cuenta que los propios norteamericanos han estado llamando misiles crucero estratégicos a varias armas cuyo alcance era inferior a 2500 kilómetros.

Portavoces de la Administración norteamericana han argumentado que los misiles crucero con un alcance de hasta 2500 kilómetros no se diferenciaban de otros "sistemas de bases adelantadas" (los aviones de los Estados Unidos estacionados en Europa) por lo que, de igual modo, tampoco deberían ser prohibidos por un acuerdo SALT. El problema de tal argumentación es que vuelve a plantear la cuestión de la no inclusión en el acuerdo de los "sistemas de bases adelantadas", concesión importante que hicieron los soviéticos en el acuerdo provisional de las SALT I y también en Vladivostok. La ventaja norteamericana al no incluir este tipo de aviones dentro de los vectores estratégicos es patente, ya que mientras ellos disponen de 500 aviones de este tipo, la Unión Soviética no tiene ninguno (a menos que el Backfire sea considerado como tal). En compensación a la aquiescencia soviética a continuar excluyendo de las negociaciones SALT los "sistemas de bases adelantadas", lo mejor sería excluir el Backfire de las SALT (a menos que se le conceda verdadera capacidad intercontinental) e incluir en ellas aquellos misiles crucero cuyo alcance no es lo suficientemente corto como para que puedan ser considerados verdaderamente tácticos. El Backfire, los misiles crucero tácticos y la aviación instalada en "bases adelantadas" podrían ser abordados en el contexto de las negociaciones MBFR ("mutual balanced force reduction": reducción mutua y equilibrada de fuerzas) que han estado desarrollándose en Viena, durante los tres últimos años, entre los países del Pacto de Varsovia y la OTAN.

La propuesta comprehensiva, rechazada de plano por los soviéticos en Moscú, era obviamente demasiado extensa, e incluía demasiados conceptos nuevos y delicados como para que pudiera servir de base a un acuerdo en las SALT antes de la fecha de expiración en este mes de octubre. Ya que los Estados Unidos presentaron como alternativa la propuesta "expectante", era lógico concluir combinando las dos para llegar al acuerdo de trabajo sobre tres puntos descritos anteriormente: un tratado por cinco años con arreglo a los niveles o techos de Vladivostok o un poco más rebajados; un protocolo de tres años de validez, restringiendo de algún modo los misiles crucero, los ICBM pesados armados con MIRV y el Backfire; por último, una declaración de principios para llegar a reducciones eficaces y a limitaciones cualitativas en el futuro. La cuestión más importante y el aspecto más delicado, entre los dos países, puede que sea la manera concreta de restringir el misil crucero.

Un posible enfoque con vistas a tal acuerdo está contenido en una propuesta que hicieron los rusos durante las conversaciones de enero de 1976, en Moscú. Propusieron la prohibición de los misiles crucero lanzados desde mar o desde tierra con un alcance superior a 600 kilómetros, mientras que los misiles crucero lanzados desde el aire con un alcance de hasta 2500 kilómetros no quedarían sujetos a limitación alguna, siempre que los aviones con capacidad de lanzar esos misiles quedasen incluidos dentro de los 1350 vectores estratégicos con MIRV, acordados en Vladivostok. Como en la actualidad hay 1046 misiles de los tipos Minuteman III y Poseidón con MIRV y cada uno de los diez o más submarinos Trident programados llevará 24 misiles MIRV, los Estados Unidos dispondrán de un total de 1286 vectores con MIRV. Esto significaría que únicamente 34 aviones estadounidenses podrían ir armados con misiles crucero. No obstante, éste podría ser el punto de partida para llegar a un acuerdo sobre misiles crucero. La idea de contabilizar como vectores MIRV a los aviones equipados para lanzar misiles crucero es acertada, ya que impide una ilimitada entrada en servicio de misiles crucero lanzados desde el aire. También, porque coloca la cifra de vectores MIRV –bastante elevada– dentro de unas medidas más significativas a efectos de control de armamentos y permite, sin embargo, que algunos aviones se utilicen como vectores estratégicos sin tener que penetrar en las defensas aéreas soviéticas.

De todas formas, habría problemas en la verificación. El alcance operativo de un misil crucero no puede ser constatado con certeza mediante la observación de las pruebas que realice el contrario; también puede resultar difícil verificar que un misil de largo alcance, declarado para ser lanzado desde el aire, no lo sea desde tierra o desde un navío, lo cual violaría los inferiores límites de alcance señalados para dichas armas. Sin embargo, los soviéticos nunca se han preocupado gran cosa por las verificaciones, ya que es virtualmente imposible para los Estados Unidos guardar en secreto cualquiera de sus grandes programas militares. Desde el punto de vista estadounidense, el hecho de que la Unión Soviética comenzase a desarrollar modernos misiles crucero de mayor alcance –aunque dicho alcance supere los 600 kilómetros– no llegaría a suponer una seria amenaza estratégica. Ni siquiera un misil crucero terrestre con un alcance de 2500 kilómetros podría penetrar en los Estados Unidos si fuese lanzado desde territorio ruso. Colocar dichos misiles en submarinos no tendría mucho valor militar para la Unión Soviética ni supondría un riesgo para la seguridad de los Estados Unidos, ya que los soviéticos poseen en la actualidad 840 misiles balísticos de mayor alcance contra los que Estados Unidos carece de defensa. Por otra parte, esto implicaría un uso poco adecuado de la fuerza submarina soviética y no merecería la pena violar un tratado actuando así. Si los soviéticos instalasen misiles crucero en los Backfire para darles capacidad intercontinental, esos bombarderos se contabilizarían dentro del techo de vectores con MIRV.

Los soviéticos han indicado que no aceptarán las considerables reducciones con respecto a los techos de Vladivostok, que supone la propuesta norteamericana comprehensiva, pero sí podrían acceder a reducciones inferiores, tal vez de un 10 por ciento en lugar del 25 por ciento. Esto no tendría mayor importancia en cuanto al control de armamentos, pero sería muy significativo para dar a entender al resto del mundo que las dos superpotencias nucleares estaban, por vez primera, dispuestas a frenar la carrera de armamentos. Por lo que respecta al control cualitativo, sería probablemente demasiado optimista pensar que en este mes de octubre se establezcan limitaciones en cuanto a modernización o sustitución de los armamentos hoy existentes. Ahora bien, acuerdos de este género podrían tomar forma a título de metas, en una declaración de principios para futuras negociaciones. Estas deberían proseguir sin demora una vez sea firmado el tratado SALT II. Cabe pensar en que ambos países se declaren dispuestos a efectuar, independientemente, restricciones en sus programas de armamentos durante futuras negociaciones, estableciendo así un clima favorable para empezar a poner bajo control la carrera cualitativa de armamentos.

Bibliografía

Los lectores interesados en una mayor profundización de los temas expuestos pueden consultar los trabajos siguientes:

LAS NEGOCIACIONES SALT

ANNUAL DEFENSE DEPARTMENT REPORT, FY 78. Donald Rumsfeld. Government Printing Office, enero, 17, 1977.

CRUISE MISSILES. Kosta Tsipis en *Investigación y Ciencia*, n.º 7, págs. 20-31, abril, 1977.

PRESIDENT CARTER DISCUSSES STRATEGIC ARMS LIMITATION PROPOSALS en *The Department of State Bulletin*, vol. LXXVI, n.º 1974, págs. 409-414; 25 abril, 1977.

OBJETOS BL LACERTAE

QUASI-STELLAR OBJECTS. Geoffrey Burbidge y Margaret Burbidge. W. H. Freeman and Company, 1967.

RADIO PROPERTIES OF BL LAC TYPE OBJECTS. D. R. Altschuler y J. F. C. Wardle en *Nature*, vol. 255, n.º 5506, págs. 306-310; mayo 22, 1975.

THE BL LACERTAE OBJECTS. W. A. Stein, S. L. O'Dell y P. A. Strittmatter en *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, vol. 14, págs. 173-195; 1976.

COMUNICACIONES OPTICAS

COMMUNICATION BY LASER. Stewart E. Miller en *Scientific American*, vol. 214, n.º 1, págs. 19-27; enero, 1966.

SPECIAL ISSUE: LIGHTWAVE COMMUNICATIONS en *Physics Today*, vol. 29, n.º 5, págs. 23-60; mayo, 1976.

LIGHTWAVE COMMUNICATIONS PASSES ITS FIRST TEST. Ira Jacobs en *Bell Laboratories Record*, vol. 54, n.º 11, págs. 290-297; diciembre, 1976.

OPTICAL TRANSMISSION OF VOICE AND DATA. Ira Jacobs y Stewart E. Miller en *IEEE Spectrum*, vol. 14, n.º 2, págs. 32-41; febrero, 1977.

FLUJO DE CALOR DESDE EL INTERIOR DE LA TIERRA

CONTINENTS ADRIFT AND CONTINENTS AGROUND: READINGS FROM *SCIENTIFIC AMERICAN*. Introducción por J. Tuzo Wilson. W. H. Freeman and Company, 1976.

AN ANALYSIS OF THE VARIATION OF OCEAN FLOOR BATHYMETRY AND HEAT FLOW WITH AGE. Barry Parsons y John G. Sclater en *Journal of Geophysical Research*, vol. 82, n.º 5, págs. 803-827; 1977.

REGIONAL GEOTHERMS AND LITHOSPERE THICKNESS. David S. Chapman y Henry N. Pollack en *Geology*, vol. 5, n.º 5, págs. 265-268; mayo, 1977.

CANGUROS

LIFE OF MARSUPIALS. H. Tyndale-Biscoe. Edward Arnold, 1973.

BIOGEOGRAPHICAL CONSIDERATIONS OF THE MARSUPIAL-PLACENTAL DICHOTOMY. Jason A. Lillegraven en *Annual Review Ecology and Systematics*, vol. 5, págs. 74-94; 1974.

THE BIOLOGY OF KANGAROOS (*MARSUPIALIA-MACROPODIDAE*). Eleanor M. Russell en *Mammal Review*, vol. 4; n.º 1 y n.º 2, págs. 1-59; marzo/júnio, 1974.

LOS VACUOLOS GASIFEROS DE LAS CIANOFICEAS

BLUE-GREEN ALGAE: FINE STRUCTURE OF THE GAS VACUOLES. C. C. Bowen y T. E. Jensen en *Science*, vol. 147, n.º 3664, págs. 1460-1462; 19 marzo, 1965.

ISOLATION AND CHEMICAL CHARACTERIZATION OF GAS-VACUOLE MEMBRANES FROM *MICROCYSTIS AERUGINOSA* KUETZ. EMEND. ELENKIN. Daniel D. Jones y Michael Jost en *Archiv für Mikrobiologie*, vol. 70, n.º 1, págs. 43-64; 1970.

STRUCTURE AND FUNCTION OF GAS VACUOLES. A. E. Walsby en *Bacteriological Reviews*, vol. 36, n.º 1, págs. 1-32; marzo, 1972.

PERSPECTIVAS EN QUIMICA MACROMOLECULAR

ON THE BIOLOGICAL ROLE OF BASIC PROTEINS IN SPERMATOZOA AND DURING SPERMIOGENESIS, J. A. Subirana en *The Biology of the Male Gamete*, ed. J. G. Duckett y P. A. Racey (suplemento n.º 1 del *Biological Journal of the Linnean Society*, vol. 7, 1975), págs. 239-244.

LA ARQUITECTURA DE LA CÉLULA, BASE DE LA VIDA, Juan A. Subirana, en *Avances del Saber*, tomo XI, Enciclopedia Labor, pág. 27, Editorial Labor, S.A., 1975.

THE DUAL STRUCTURE OF CONCENTRATED NUCLEOHISTONE GELS FROM DIFFERENT SOURCES: A QUANTITATIVE ANALYSIS OF X-RAY DIFFRACTION PATTERNS, Juan A. Subirana, Fernando Azorín, Josep Roca, Joaquín Lloveras, Remedios Llopis y Jordi Cortadas en *The Molecular Biology of the Mammalian Genetic Apparatus*, ed. P. Ts'o, Elsevier/North Holland Biomedical Press, 1977, págs. 71-92.

X-RAY DIFFRACTION STUDIES OF NUCLEOPROTAMINE STRUCTURE, P. Suau y J. A. Subirana, en *Journal of Molecular Biology*, en prensa, 1977.

"SEGUNDOS MENSAJEROS" EN EL CEREBRO

THE ROLE OF CYCLIC NUCLEOTIDES IN CENTRAL SYNAPTIC FUNCTION. Floyd E. Bloom en *Review of Physiology, Biochemistry and Pharmacology*, vol. 74, págs. 1-103; 1975.

POSSIBLE ROLE FOR CYCLIC NUCLEOTIDES AND PHOSPHORYLATED MEMBRANE PROTEINS IN POSTSYNAPTIC ACTIONS OF NEUROTRANSMITTERS. Paul Greengard en *Nature*, vol. 260, n.º 5547, págs. 101-108; marzo 11, 1976.

CYCLIC NUCLEOTIDES IN THE NERVOUS SYSTEM. John W. Daly. Plenum Press, 1977.

CYCLIC NUCLEOTIDES AND NERVOUS SYSTEM FUNCTION. James A. Nathanson en *Physiological Review*, vol. 57, págs. 157-256; 1977.

JUEGOS MATEMATICOS

THE CODEBREAKERS. David Kahn. The Macmillan Company, 1967.

A FAST MONTE-CARLO TEST FOR PRIMALITY. R. Solovay y V. Strassen en *SIAM Journal on Computation*, vol. 6, n.º 1, págs. 84-85; marzo, 1977.

TALLER Y LABORATORIO

ADVANCES IN GEOPHYSICS: Vol. II, Hugo Benioff en *Earthquake Seismographs and Associated Instruments*. Academic Press, Inc., 1955.

SCIENTIFIC AMERICAN BOOK OF PROJECTS FOR THE AMATEUR SCIENTIST C. L. Stong. Simon and Schuster, 1960.

Número 13
Octubre 1977

INVESTIGACION Y
CIENCIA *Edición en español de* SCIENTIFIC AMERICAN

SCIENTIFIC AMERICAN

COMITE DE REDACCION: Gerard Piel (Presidente); Dennis Flanagan, Francis Bello, Philip Morrison; Trudy E. Bell; Brian P. Hayes; Jonathan B. Piel; John Purcell; James T. Rogers; Armand Schwab, Jr.; Jonathan B. Tucker; Joseph Wisnovsky

DIRECCION EDITORIAL: Dennis Flanagan
DIRECCION ARTISTICA: Samuel L. Howard
PRODUCCION: Richard Sasso
DIRECTOR GENERAL: Donald H. Miller, Jr.

INVESTIGACION Y CIENCIA

DIRECTOR: Francisco Gracia Guillén
REDACTOR JEFE: José María Valderas Gallardo
PRODUCCION: Manuel Estrada Herrero
PROMOCION: Pedro Clotas Cierco

EDITA: Prensa Científica, S.A.
Calabria, 235-239
Barcelona-15
ESPAÑA

Los autores

HERBERT SCOVILLE, JR. ("Las negociaciones SALT") es secretario de la Arms Control Association, que es un organismo privado con sede en Washington. Después de graduarse en la Universidad de Yale en 1937, realizó trabajos de investigación en química física en las de Cambridge y Rochester, obteniendo el doctorado por esta última en 1942. Scoville preside hoy el Council on Foreign Relations SALT Working Group.

MICHAEL J. DISNEY y PHILIPPE VÉRON ("Objetos BL Lacertae") trabajan en observatorios astronómicos. Disney se doctoró en astronomía teórica por la Universidad de Londres en 1968. Sin embargo, tras dos años de docencia en la Universidad de Arizona, prefirió la vida nómada del astrónomo observacional, pasando cuatro años en el observatorio Mount Stromlo en Australia y otros dos en la Universidad de Groningen, en Holanda. Hoy se encuentra en el Royal Greenwich Observatory, en Sussex. Véron, de nacionalidad francesa, tras su paso por la École Polytechnique parisiense, empezó, en 1962, a estudiar radioastronomía en el Observatorio de París, y después de trabajar durante un año con Allan R. Sandage en los Hale Observatories de Pasadena, se doctoró en 1967. En la actualidad disfruta de dos años de excedencia del European Southern Observatory de Ginebra.

W. S. BOYLE ("Comunicaciones ópticas") es director de la Research and Communications Sciences Division, de los Bell Laboratories. Nacido en Nova Scotia, pilotó Spitfires de la Royal Navy durante la Segunda Guerra Mundial. Finalizada la cual, estudió en la Universidad McGill, obteniendo su doctorado en física en 1950. Se incorporó a los Bell Laboratories en 1953 y participó en el desarrollo de láseres de estado sólido. Más tarde, con Donald F. Nelson, de los Bell Laboratories, desarrolló el primer láser de ruby de operación continua. Boyle es coinventor del dispositivo de carga acoplada, una técnica microelectrónica de grandes aplicaciones.

HENRY N. POLLACK y DAVID S. CHAPMAN ("Flujo de calor desde el interior de la tierra") son, respectivamente, profesor de geofísica en la Universidad de Michigan y profesor adjunto de geofísica en la Universidad de Utah. Pollack estudió geología en la Universidad de Cornell y en la de Nebraska y se doctoró en geofísica por la Universidad de Michigan en 1963. Posteriormente, realizó su investigación postdoctoral con el grupo de geotermia dirigido por Francis Birch, de la Universidad de Harvard. En 1970, Pollack conoció a Chapman mientras trabajaba en mediciones geotérmicas en los prominentes altiplanos de Africa Central. Chapman es de origen canadiense y estudió en la Universidad de British Columbia. Durante seis años permaneció como profesor voluntario en Zambia, primero en una escuela secundaria y posteriormente impartiendo clases de geofísica en la Universidad Nacional.

T. J. DAWSON ("Canguros") es profesor y director de la facultad de zoología de la Universidad de New South Wales, Australia. "Mi interés por la biología de los animales australianos se remonta a mi infancia, cuando merodeaba por entre los matorrales de los alrededores de la pequeña ciudad de Nyngan, en el interior de la región lanera de Australia." Después de doctorarse en la Universidad de New England, Australia, en 1964, estuvo tres años en los Estados Unidos, inicialmente con Knut Schmidt-Nielsen en la Duke University y posteriormente con Theodore Hammel en la de Yale. Desde su regreso a Australia ha venido trabajando en la fisiología y ecología de los marsupiales y monotremas, con especial énfasis en el canguro.

A. E. WALSBY ("Los vacúolos gasíferos de las cianofíceas") es lector en el departamento de biología marina en el University College de North Wales. Tras graduarse en botánica por la Universidad de Birmingham, investigó, en unión con G. E. Fogg, las cianofíceas en la Universidad de Londres, en donde se doctoró en 1965. De 1971 a 1973 fue miembro de la Universidad de California en Berkeley: allí continuó sus trabajos sobre tales algas en colaboración con Daniel Branton.

JUAN ANTONIO SUBIRANA ("Perspectivas en química macromolecular") es catedrático de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Barcelona y director del departamento de química macromolecular del C.S.I.C. Estudió química e ingeniería industrial en Barcelona y Madrid, doctorándose en ambas especialidades. Posteriormente trabajó como investigador en las Universidades de París y Harvard y en el Instituto Weizmann de Israel. Está afiliado a numerosas sociedades científicas y es miembro del Comité de expertos en biofísica de la región europea de la UNESCO y de la Organización Europea de Biología Molecular. En el departamento que dirige se realizan actualmente trabajos de investigación en distintas áreas de la química macromolecular, entre las que cabe destacar: fisicoquímica de polielectrolitos y de su comportamiento reológico; caracterización de polímeros sintéticos por microscopía electrónica y difracción de rayos X; estructura y composición de los cromosomas; proteínas de los espermatozoides y su interacción con el ácido desoxirribonucleico; espermiogénesis humana y sus anomalías.

JAMES A. NATHANSON y PAUL GREENGARD ("'Segundos mensajeros' en el cerebro") están ambos en la facultad de medicina de la Universidad de Yale. Nathanson ha mostrado interés por la ciencia desde la escuela primaria, cuando realizaba experimentos sobre aprendizaje y memoria en un laboratorio que tenía montado en el sótano de su casa. Fue al Trinity College y luego estudió medicina en Yale. Durante su carrera en Yale, se preocupó por el enfoque bioquímico de la función cerebral y, siguiendo con esta línea, se doctoró en neurobiología en el laboratorio de Greengard. Después de graduarse, estuvo un año como médico interno, pero luego pasó otros dos en los National Institutes of Health. En 1976, volvió a Yale como residente en neurología. Greengard es profesor de farmacología en Yale. La ciencia le interesó por primera vez cuando, a la edad de 17 años, estando alistado en la Marina durante la segunda guerra mundial, le mandaron al Instituto de Tecnología de Massachusetts para que participara en la elaboración de un sistema de alarma precoz, destinado a proteger a los navíos de la Marina del ataque de los aviones suicidas japoneses. Después de la guerra, fue al Hamilton College y luego a la Universidad de Johns Hopkins, donde la rama objeto de su interés evolucionó de las matemáticas y la física a la neurobiología. Tras doctorarse en Johns Hopkins en 1953, estuvo cinco años realizando trabajos postdoctorales en Inglaterra.